

PAT-NO: JP02004297971A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 2004297971 A

TITLE: ELECTROSTATIC ACTUATOR AND ITS DISPLACING METHOD

PUBN-DATE: October 21, 2004

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
GONDO, MASAHIKO	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
OLYMPUS CORP	N/A

APPL-NO: JP2003090061

APPL-DATE: March 28, 2003

INT-CL (IPC): H02N001/00

ABSTRACT:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an electrostatic actuator in which displacement and rotation can be attained through a simple arrangement by eliminating the charger feeder for a mover, and the need for charging is eliminated by eliminating the need for selecting a material having a specified surface resistivity.

**SOLUTION:** The electrostatic actuator comprises a stator 1 having two induction electrodes 3a and 3b arranged substantially in parallel and a plurality of driving electrodes 4 arranged at a specified period, and a mover 10 having two combined electrode structures. Induction charges are generated on the electrodes 12a and 12b of the mover 10 through the induction electrodes 3a and 3b of the stator 1 and the stator 1 is displaced by generating an electrostatic force between the induction charges and the charges being fed to the driving electrodes 4 of the stator 1.

COPYRIGHT: (C)2005,JPO&NCIPI

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-297971

(P2004-297971A)

(43) 公開日 平成16年10月21日(2004.10.21)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

H02N 1/00

F1

H02N 1/00

テーマコード (参考)

審査請求 未請求 請求項の数 24 O L (全 29 頁)

(21) 出願番号 特願2003-90061 (P2003-90061)  
 (22) 出願日 平成15年3月28日 (2003. 3. 28)

(71) 出願人 000000376  
 オリンパス株式会社  
 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号  
 (74) 代理人 100058479  
 弁理士 鈴江 武彦  
 (74) 代理人 100091351  
 弁理士 河野 哲  
 (74) 代理人 100084618  
 弁理士 村松 貞男  
 (74) 代理人 100100952  
 弁理士 風間 鉄也  
 (72) 発明者 権藤 雅彦  
 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オ  
 リンパス光学工業株式会社内

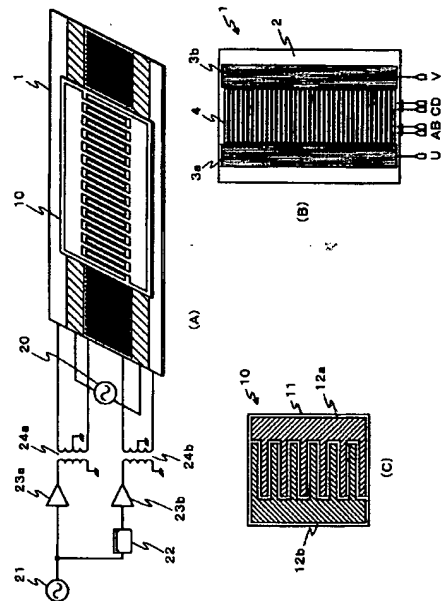
(54) 【発明の名称】 静電アクチュエータおよび変位方法

## (57) 【要約】

【課題】 移動子への電荷供給線を無くして変位や回転を単純な構成で可能とすると共に、所定の表面抵抗率を持つ材質を選択する必要をなくし、電荷の充電を不要にした静電アクチュエータを提供すること。

【解決手段】 略平行に配置された2個の誘導電極3a, 3bおよび所定周期で配置された複数の駆動電極4を有する固定子1と、2個の組み合わせられた電極構造を有する移動子10とから構成し、固定子1の誘導電極3a, 3bを経由し移動子10の電極12a, 12bへ誘導電荷を発生させ、誘導電荷と固定子1の駆動電極4に供給される電荷との間に静電力を発生させて移動子10を変位させる。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

電極を有する移動子と、誘電電極および駆動電極を有する固定子と、からなる静電アクチュエータであって、  
前記移動子の電極の一部がそれぞれ前記固定子の誘導電極と駆動電極と対向するように配置され、  
前記移動子の電極には直接、電圧を印加せず、  
前記固定子の誘導電極と駆動電極のそれぞれに所定の電圧を印加することで、  
前記移動子と前記固定子とを相対的に変位させることを特徴とする静電アクチュエータ。

## 【請求項 2】

前記固定子の誘導電極に電圧を印加することで、前記移動子の電極に静電誘導で電荷を発生させることを特徴とする請求項 1 に記載の静電アクチュエータ。

## 【請求項 3】

固定子と移動子とからなり、前記固定子に配設された駆動電極と前記移動子に配設された電極との間に静電力を生じさせて前記移動子を前記固定子に対し相対的に変位させる静電アクチュエータであって、  
前記固定子に前記駆動電極とは別の、前記移動子の電極に静電誘導を生じさせるための誘導電極を配設すると共に、  
前記移動子の電極を、前記固定子の駆動電極に対向する位置に設けられた被駆動電極部と前記固定子の誘導電極に対向する位置に設けられた被誘導電極部とより構成し、  
前記固定子の誘導電極に電圧を印加することにより前記被誘導電極部を介して前記移動子の電極に静電誘導を生じさせつつ、前記固定子の駆動電極に電圧を印加することにより当該駆動電極と前記静電誘導の生じた移動子における前記被駆動電極部との間に静電力を生じさせて前記移動子を前記固定子に対し相対的に変位させることを特徴とする静電アクチュエータ。

## 【請求項 4】

前記移動子の誘導電極を、略櫛歯形状且つ入れ子状に相対配置された第 1 電極と第 2 電極とで構成し、前記被誘導電極部を略櫛歯形状の基部に対応させ、前記被駆動電極部を略櫛歯形状の櫛歯端を含む櫛歯部に対応させたことを特徴とする請求項 3 に記載の静電アクチュエータ。

## 【請求項 5】

略平行または同心円状に配置された 2 個以上の誘導電極および所定周期で配置された複数の駆動電極を有する固定子と、  
少なくとも 2 個の組み合わせられた電極構造を有する移動子と、  
から構成され、  
前記固定子の誘導電極を経由し前記移動子の電極へ電荷を発生させ、前記電荷と前記固定子の駆動電極との間に静電力を発生させて前記移動子を変位させることを特徴とする静電アクチュエータ。

## 【請求項 6】

前記固定子の表面上部に前記移動子を配置し、前記固定子の誘導電極へ第 1 交流電圧を印加し且つ前記固定子の駆動電極へ第 2 交流電圧を印加して、導電未接続の前記移動子を変位させることを特徴とする請求項 1 乃至 5 の何れかに記載の静電アクチュエータ。

## 【請求項 7】

前記固定子は、前記誘導電極および所定周期且つ 4 個毎に結線配置された駆動電極とを有し、  
前記移動子は、入れ子状に相対配置された第 1 電極と第 2 電極とを有し、  
前記移動子の第 1 電極と第 2 電極からなる配列ピッチは、前記固定子の駆動電極の配列ピッチの 2 倍とし、  
前記固定子の誘導電極へ前記第 1 交流電圧を印加することで前記移動子の第 1 電極および第 2 電極へ電荷を発生させて前記移動子の電極配列に第 1 進行波を発生させ、

前記固定子の駆動電極へ4相の前記第2交流電圧を印加して前記駆動電極の配列に第2進行波を発生させ、

その第1進行波と第2進行波の時間変位の差に従って前記移動子を変位させることを特徴とする請求項6に記載の静電アクチュエータ。

【請求項8】

前記第1交流電圧と前記第2交流電圧の周波数差によって前記移動子の速度を制御することを特徴とする請求項7に記載の静電アクチュエータ。

【請求項9】

前記第1交流電圧と前記第2交流電圧の周波数差をゼロとすることで、前記移動子を静止させることを特徴とする請求項7に記載の静電アクチュエータ。

10

【請求項10】

前記固定子は、絶縁基材の裏面に所定ピッチで前記駆動電極を配置し、それぞれ第1乃至第4の共通ラインを設けて前記駆動電極の配列方向と略平行に配置し、それら第1乃至4の共通ラインのうち2本を表面に他の2本を裏面に配置して4個毎に前記駆動電極に結線し、それらの共通ラインと略平行して前記移動子へ誘導電荷を供給する前記誘導電極を表面に配置することにより構成され、

その固定子の表面側に前記移動子を重ねたことを特徴とする請求項7に記載の静電アクチュエータ。

【請求項11】

前記移動子の第1電極と第2電極とからなる電極配列の電極幅と配列ピッチの長さ比を1/3乃至2/3としたことを特徴とする請求項7に記載の静電アクチュエータ。

20

【請求項12】

前記固定子を、少なくとも、絶縁基材表面に所定ピッチで配置される駆動電極の配列と、前記駆動電極を4個毎にまとめて結線する第1乃至第4の共通ラインとで構成し、

前記固定子の駆動電極の配列空間に0度位相および180度位相の交流電位を発生する第1トランスと、

前記固定子の駆動電極の配列空間に90度位相および270度位相の交流電位を発生する第2トランスと、

を更に有し、

前記第1トランスの1次側に印加する電圧と前記第2トランスの1次側に印加する電圧の位相が90度異なることを特徴とする請求項7に記載の静電アクチュエータ。

30

【請求項13】

前記固定子の駆動電極の配列空間に0度位相および180度位相の交流電位を発生する第1トランスと、

前記固定子の駆動電極の配列空間に90度位相および270度位相の交流電位を発生する第2トランスと、

を更に有し、

前記第1トランスと前記第2トランスの2次出力を、前記固定子の共通ラインに接続し、前記第1トランスの1次側入力と前記第2トランスの1次側入力の位相が90度異なることを特徴とする請求項10に記載の静電アクチュエータ。

40

【請求項14】

前記移動子の電極は、櫛歯状形状を有する第1電極と略同形状の第2電極とを入れ子状に相対して配置してなることを特徴とする請求項1乃至7の何れかに記載の静電アクチュエータ。

【請求項15】

複数個の前記移動子を連結する第1連結部材と、

複数個の前記固定子を連結する第2連結部材と、

を更に有し、

前記第1連結部材および前記第2連結部材を介して前記移動子と前記固定子を複数重ねて、複数の前記移動子と前記第1連結部材とが移動することを特徴とする請求項1乃至7の

50

何れかに記載の静電アクチュエータ。

【請求項 16】

前記移動子は、櫛歯状の端電極が放射状に広がる第1電極と、櫛歯状の端電極が求心して配置される第2電極とが入れ子状に相対して配置された回転する移動子であり、  
前記固定子は、円盤円周上に配置された2個以上の誘導電極と所定の周期角をもって複数毎に結線配置された駆動電極が組み込まれたものであることを特徴とする請求項1乃至7の何れかに記載の静電アクチュエータ。

【請求項 17】

前記回転子と前記固定子とを回転軸を共通にして複数段に積層化し、複数の回転子により発生する回転トルクを回転軸共通として取り出すことを特徴とする請求項16に記載の静電アクチュエータ。 10

【請求項 18】

前記移動子は、櫛歯状形状を有する第1電極と略同形状の第2電極が入れ子状に相対して配置され、且つ前記第1電極と前記第2電極の配列方向が直線となるように円筒面内に配置されたものであり、  
前記固定子は、円筒直線上に配置された2個以上の誘導電極と直線配列となるよう配置された駆動電極が組み込まれて構成されることを特徴とする請求項1乃至7の何れかに記載の静電アクチュエータ。

【請求項 19】

前記移動子は、櫛歯状形状を有する第1電極と略同形状の第2電極が入れ子状に相対して配置され、且つ前記第1電極と前記第2電極の配列方向が円となるように円筒面内に配置された、周回転する移動子であり、  
前記固定子は、円筒円周上に配置された2個以上の誘導電極と円周配列となるよう配置された駆動電極が組み込まれて構成されることを特徴とする請求項1乃至7の何れかに記載の静電アクチュエータ。 20

【請求項 20】

前記固定子の駆動電極を3相以上の多相交流電圧で駆動するもので、前記移動子の第1電極および第2電極で構成される1周期ピッチが多相交流電源で駆動される駆動電極の1周期ピッチと等しいことを特徴とする請求項1乃至7の何れかに記載の静電アクチュエータ。 30

【請求項 21】

前記変位は直線移動であることを特徴とする請求項1乃至20の何れかに記載の静電アクチュエータ。

【請求項 22】

前記変位は回転であることを特徴とする請求項1乃至20の何れかに記載の静電アクチュエータ。

【請求項 23】

移動子の電極とその一部が対向するそれぞれ異なる位置に誘電電極と駆動電極とを配置し、  
前記誘導電極に電圧を印加することで、前記移動子の電極に静電誘導で電荷を発生させ、  
前記駆動電極と前記移動子の電極に発生した前記電荷との静電力により、  
前記移動子の電極と前記駆動電極との相対位置を変位させることを特徴とする変位方法。 40

【請求項 24】

固定子に配設された駆動電極と移動子に配設された電極との間に静電力を生じさせて前記移動子を前記固定子に対し相対的に変位させる変位方法であって、  
前記固定子に、前記駆動電極とは別の、前記移動子の電極に静電誘導を生じさせるための誘電電極を配設し、  
前記固定子の誘導電極に電圧を印加して、前記移動子の電極に静電誘導を生じさせつつ前記駆動電極に電圧を印加することにより当該駆動電極と前記移動子の電極との間に静電力を生じさせて、 50

前記移動子を前記固定子に対し相対的に変位させることを特徴とする変位方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、静電気の作用によって動作する静電アクチュエータおよび変位方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来のアクチュエータやモータは主に電磁力の作用によって動作するものであって、永久磁石や鉄心などの重量が大きく重いもので、且つ巻き線に流れる電流損失のため発熱が大きいものであった。

10

【0003】

一方、電磁力以外のアクチュエータとして、超音波アクチュエータや超音波モータが知られているが、これらは圧電振動子の摩擦力によって駆動されるために常時駆動するには摩擦劣化のために寿命が短く、精度良い位置決めを行うにはエンコーダなどの位置センサを用いて制御する必要があった。

【0004】

さらに、超音波アクチュエータを小さくするためには、圧電体の共振周波数を上げる必要があり、周波数を上げると低速で動作させるのが難しいといった欠点があった。

【0005】

これらを解決するために、静電力を利用した静電アクチュエータが幾つか提案・研究されており、比較的大きな力が発生できるものに次の代表的な2つの提案がある（例えば、特許文献1及び2参照）。

20

【0006】

即ち、特許文献1には、固定子と移動子の両方に、所定の間隔を設けて配置された複数の帯状電極を有して、固定子電極側と移動子電極の両者に交流電源を接続・印加して、それらの間に作用する静電力で移動子を変位駆動させる静電アクチュエータが開示されている。

【0007】

また、特許文献2には、固定子と移動子を有し、所定の表面抵抗率を持ったフィルムで構成された移動子へ固定子側から電荷の充電を行い、移動子内の誘電体の分極時間遅れを利用して、固定子との間で静電力を起こさせて変位駆動力を得る接触型静電アクチュエータが開示されている。

30

【0008】

【特許文献1】

特開平6-78566号公報

【0009】

【特許文献2】

特開平2-285978号公報

【0010】

【発明が解決しようとする課題】

40

しかしながら、これらの提案は、それぞれ次のような問題があり、実用化されるに至っていない。

【0011】

即ち、固定子電極と移動子電極の両方に交流電源を印加する上記特許文献1に開示の静電アクチュエータは、移動子電極へ接続するための電荷供給線が必要であり、移動子の繰り返し運動に伴い電荷供給線の疲労劣化が起り断線の心配があり信頼性上好ましくない。また、複数の帯状電極を円周放射状に並べた回転型アクチュエータ（モータ）においては、移動子である回転体に接続するためのスリップリングなどの回転伝導部材が必要になり、回転部の摩擦の問題や機構が複雑になるといった問題がある。

【0012】

50

一方、移動子内の誘電体の分極時間遅れを利用した上記特許文献 2 に開示の接触型静電アクチュエータは、上記特許文献 1 に開示の静電アクチュエータのような移動子への電荷供給線は必要ないが、移動子には所定の表面低効率を持ったフィルムや紙などの材質を選定する必要があり、材質が大きく限定される問題がある。また、移動子に電荷を供給するために、駆動する前に行う初期充電や駆動サイクル中に充電期間を設けるなど、複雑なシーケンス制御を必要とする。さらに、充電期間が必要であることから高速駆動は難しかった。

#### 【0013】

本発明は、上記の点に鑑みてなされたもので、移動子への電荷供給線無くして変位を単純な構成で可能とすると共に、所定の表面抵抗率を持つ材質を選択する必要をなくし、電荷の充電を不要にした静電アクチュエータ及び変位方法を提供することを目的とする。

#### 【0014】

##### 【課題を解決するための手段】

上記の目的を達成するために、請求項 1 に記載の発明による静電アクチュエータは、電極を有する移動子と、誘電電極および駆動電極を有する固定子と、からなる静電アクチュエータであって、前記移動子の電極の一部がそれぞれ前記固定子の誘導電極と駆動電極と対向するように配置され、前記移動子の電極には直接、電圧を印加せず、前記固定子の誘導電極と駆動電極のそれぞれに所定の電圧を印加することで、前記移動子と前記固定子とを相対的に変位させることを特徴とする。

#### 【0015】

また、請求項 2 に記載の発明による静電アクチュエータは、請求項 1 に記載の発明による静電アクチュエータにおいて、前記固定子の誘導電極に電圧を印加することで、前記移動子の電極に静電誘導で電荷を発生させることを特徴とする。

#### 【0016】

また、上記の目的を達成するために、請求項 3 に記載の発明による静電アクチュエータは、固定子と移動子とからなり、前記固定子に配設された駆動電極と前記移動子に配設された電極との間に静電力を生じさせて前記移動子を前記固定子に対し相対的に変位させる静電アクチュエータであって、前記固定子に前記駆動電極とは別の、前記移動子の電極に静電誘導を生じさせるための誘導電極を配設すると共に、前記移動子の電極を、前記固定子の駆動電極に対向する位置に設けられた被駆動電極部と前記固定子の誘導電極に対向する位置に設けられた被誘導電極部とより構成し、前記固定子の誘導電極に電圧を印加することにより前記被誘導電極部を介して前記移動子の電極に静電誘導を生じさせつつ、前記固定子の駆動電極に電圧を印加することにより当該駆動電極と前記静電誘導の生じた移動子における前記被駆動電極部との間に静電力を生じさせて前記移動子を前記固定子に対し相対的に変位させることを特徴とする。

#### 【0017】

また、請求項 4 に記載の発明による静電アクチュエータは、請求項 3 に記載の発明による静電アクチュエータにおいて、前記移動子の誘導電極を、略櫛歯形状且つ入れ子状に相對配置された第 1 電極と第 2 電極とで構成し、前記被誘導電極部を略櫛歯形状の基部に対応させ、前記被駆動電極部を略櫛歯形状の櫛歯端を含む櫛歯部で対応させたことを特徴とする。

#### 【0018】

上記の目的を達成するために、請求項 5 に記載の発明による静電アクチュエータは、略平行または同心円状に配置された 2 個以上の誘導電極および所定周期で配置された複数の駆動電極を有する固定子と少なくとも 2 個の組み合わせられた電極構造を有する移動子とから構成され、前記固定子の誘導電極を経由し前記移動子の電極へ電荷を発生させ、前記電荷と前記固定子の駆動電極との間に静電力を発生させて前記移動子を変位させることを特徴とする。

#### 【0019】

また、請求項 6 に記載の発明による静電アクチュエータは、請求項 1 乃至 5 の何れかに記

10

20

30

40

50

載の発明による静電アクチュエータにおいて、前記固定子の表面上部に前記移動子を配置し、前記固定子の誘導電極へ第1交流電圧を印加し且つ前記固定子の駆動電極へ第2交流電圧を印加して、導電未接続の前記移動子を変位させることを特徴とする。

【0020】

また、請求項7に記載の発明による静電アクチュエータは、請求項6に記載の発明による静電アクチュエータにおいて、前記固定子は、前記誘導電極および所定周期且つ4個毎に結線配置された駆動電極とを有し、前記移動子は、入れ子状に相対配置された第1電極と第2電極とを有し、前記移動子の第1電極と第2電極からなる配列ピッチは、前記固定子の駆動電極の配列ピッチの2倍とし、前記固定子の誘導電極へ前記第1交流電圧を印加することで前記移動子の第1電極および第2電極へ電荷を発生させて前記移動子の電極配列に第1進行波を発生させ、前記固定子の駆動電極へ4相の前記第2交流電圧を印加して前記駆動電極の配列に第2進行波を発生させ、その第1進行波と第2進行波の時間変位の差に従って前記移動子を変位させることを特徴とする。

10

【0021】

また、請求項8に記載の発明による静電アクチュエータは、請求項7に記載の発明による静電アクチュエータにおいて、前記第1交流電圧と前記第2交流電圧の周波数差によって前記移動子の速度を制御することを特徴とする。

【0022】

また、請求項9に記載の発明による静電アクチュエータは、請求項7に記載の発明による静電アクチュエータにおいて、前記第1交流電圧と前記第2交流電圧の周波数差をゼロとすることで、前記移動子を静止させることを特徴とする。

20

【0023】

また、請求項10に記載の発明による静電アクチュエータは、請求項7に記載の発明による静電アクチュエータにおいて、前記固定子は、絶縁基材の裏面に所定ピッチで前記駆動電極を配置し、それぞれ第1乃至第4の共通ラインを設けて前記駆動電極の配列方向と略平行に配置し、それら第1乃至4の共通ラインのうち2本を表面に他の2本を裏面に配置して4個毎に前記駆動電極に結線し、それらの共通ラインと略平行して前記移動子へ誘導電荷を供給する前記誘導電極を表面に配置することにより構成され、その固定子の表面側に前記移動子を重ねたことを特徴とする。

【0024】

30

また、請求項11に記載の発明による静電アクチュエータは、請求項7に記載の発明による静電アクチュエータにおいて、前記移動子の第1電極と第2電極とからなる電極配列の電極幅と配列ピッチの長さ比を $1/3$ 乃至 $2/3$ としたことを特徴とする。

【0025】

また、請求項12に記載の発明による静電アクチュエータは、請求項7に記載の発明による静電アクチュエータにおいて、前記固定子を、少なくとも、絶縁基材表面に所定ピッチで配置される駆動電極の配列と、前記駆動電極を4個毎にまとめて結線する第1乃至第4の共通ラインとで構成し、前記固定子の駆動電極の配列空間に0度位相および180度位相の交流電位を発生する第1トランスと、前記固定子の駆動電極の配列空間に90度位相および270度位相の交流電位を発生する第2トランスとを更に有し、前記第1トランスの1次側に印加する電圧と前記第2トランスの1次側に印加する電圧の位相が90度異なることを特徴とする。

40

【0026】

また、請求項13に記載の発明による静電アクチュエータは、請求項10に記載の発明による静電アクチュエータにおいて、前記固定子の駆動電極の配列空間に0度位相および180度位相の交流電位を発生する第1トランスと、前記固定子の駆動電極の配列空間に90度位相および270度位相の交流電位を発生する第2トランスとを更に有し、前記第1トランスと前記第2トランスの2次出力を、前記固定子の共通ラインに接続し、前記第1トランスの1次側入力と前記第2トランスの1次側入力の位相が90度異なることを特徴とする。

50



## 【0027】

また、請求項14に記載の発明による静電アクチュエータは、請求項1乃至7の何れかに記載の発明による静電アクチュエータにおいて、前記移動子の電極は、櫛歯状形状を有する第1電極と略同形状の第2電極とを入れ子状に相対して配置してなることを特徴とする。

## 【0028】

また、請求項15に記載の発明による静電アクチュエータは、請求項1乃至7の何れかに記載の発明による静電アクチュエータにおいて、複数の前記移動子を連結する第1連結部材と、複数の前記固定子を連結する第2連結部材とを更に有し、前記第1連結部材および前記第2連結部材を介して前記移動子と前記固定子を複数重ねて、複数の前記移動子と前記第1連結部材とが移動することを特徴とする。 10

## 【0029】

また、請求項16に記載の発明による静電アクチュエータは、請求項1乃至7の何れかに記載の発明による静電アクチュエータにおいて、前記移動子は、櫛歯状の端電極が放射状に広がる第1電極と、櫛歯状の端電極が求心して配置される第2電極とを入れ子状に相対して配置された回転する移動子であり、前記固定子は、円盤円周上に配置された2個以上の誘導電極と所定の周期角をもって複数毎に結線配置された駆動電極が組み込まれたものであることを特徴とする。

## 【0030】

また、請求項17に記載の発明による静電アクチュエータは、請求項16に記載の発明による静電アクチュエータにおいて、前記回転子と前記固定子とを回転軸を共通にして複数段に積層化し、複数の回転子により発生する回転トルクを回転軸共通として取り出すことを特徴とする。 20

## 【0031】

また、請求項18に記載の発明による静電アクチュエータは、請求項1乃至7の何れかに記載の発明による静電アクチュエータにおいて、前記移動子は、櫛歯状形状を有する第1電極と略同形状の第2電極が入れ子状に相対して配置され、且つ前記第1電極と前記第2電極の配列方向が直線となるように円筒面内に配置されたものであり、前記固定子は、円筒直線上に配置された2個以上の誘導電極と直線配列となるよう配置された駆動電極が組み込まれて構成されることを特徴とする。 30

## 【0032】

また、請求項19に記載の発明による静電アクチュエータは、請求項1乃至7の何れかに記載の発明による静電アクチュエータにおいて、前記移動子は、櫛歯状形状を有する第1電極と略同形状の第2電極が入れ子状に相対して配置され、且つ前記第1電極と前記第2電極の配列方向が円となるように円筒面内に配置された、周回転する移動子であり、前記固定子は、円筒円周上に配置された2個以上の誘導電極と円周配列となるよう配置された駆動電極が組み込まれて構成されることを特徴とする。

## 【0033】

また、請求項20に記載の発明による静電アクチュエータは、請求項1乃至7の何れかに記載の発明による静電アクチュエータにおいて、前記固定子の駆動電極を3相以上の多相交流電圧で駆動するもので、前記移動子の第1電極および第2電極で構成される1周期ピッチが多相交流電源で駆動される駆動電極の1周期ピッチと等しいことを特徴とする。 40

## 【0034】

また、請求項21に記載の発明による静電アクチュエータは、請求項1乃至20の何れかに記載の発明による静電アクチュエータにおいて、前記変位は直線移動であることを特徴とする。

## 【0035】

また、請求項22に記載の発明による静電アクチュエータは、請求項1乃至20の何れかに記載の発明による静電アクチュエータにおいて、前記変位は回転であることを特徴とする。 50

## 【0036】

また、上記の目的を達成するために、請求項23に記載の発明による変位方法は、移動子の電極とその一部が対向するそれぞれ異なる位置に誘電電極と駆動電極とを配置し、前記誘導電極に電圧を印加することで、前記移動子の電極に静電誘導で電荷を発生させ、前記駆動電極と前記移動子の電極に発生した前記電荷との静電力により、前記移動子の電極と前記駆動電極との相対位置を変位させることを特徴とする。

## 【0037】

また、上記の目的を達成するために、請求項24に記載の発明による変位方法は、固定子に配設された駆動電極と移動子に配設された電極との間に静電力を生じさせて前記移動子を前記固定子に対し相対的に変位させる変位方法であって、前記固定子に、前記駆動電極とは別の、前記移動子の電極に静電誘導を生じさせるための誘電電極を配設し、前記固定子の誘導電極に電圧を印加して、前記移動子の電極に静電誘導を生じさせつつ前記駆動電極に電圧を印加することにより当該駆動電極と前記移動子の電極との間に静電力を生じさせて、前記移動子を前記固定子に対し相対的に変位させることを特徴とする。

## 【0038】

## 【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。

## 【0039】

## 〔第1の実施の形態〕

図1(A)は、本発明の第1の実施の形態に係る静電アクチュエータの概略構成を示す図であり、該静電アクチュエータの固定子1を図1(B)に、移動子10を図1(C)にそれぞれ示す。

## 【0040】

固定子1には、交流発生装置21の出力信号をもとにアンプ23a及び高圧トランス24aを通して発生された高圧電圧が印加されると同時に、上記交流発生装置21の出力信号を位相器22で遅延させた信号を高圧アンプ23b及び高圧トランス24bを通すことで発生された高圧電圧が印加される。この場合、高圧トランス24a、24bの出力は、固定子の駆動電極4へ接続端子A、B、C、Dを通じて印加される。また、交流駆動源20の出力が固定子1の誘導電極3a、3bへ接続端子UとVを通じて印加される。

## 【0041】

固定子1の誘導電極3a、3bや駆動電極4は、フィルム状の絶縁体2の中に組み込まれている。この固定子1の上に、移動子10が乗っており、この移動子10は、絶縁体11の中に櫛歯状電極12a、12bが互いに入れ子状になって配置された構成となっている。特徴的なことは、この移動子10には、外部との接続端子が一切なく、静電気エネルギーは上記固定子1の誘導電極3a、3bから取得するようになっている。

## 【0042】

図1(A)の状態、移動子10は固定子1の上を静電力すなわち静電気のクーロン力を受けて左右に変位する。また、図1(C)の櫛歯状電極12a、12bの櫛歯ピッチは、図1(B)の駆動電極4の配列ピッチの2倍となっている。

## 【0043】

図2は、移動子10の櫛歯状電極12a、12bへ真電荷を発生するときの、基本となる静電誘導の原理を説明するための図である。二つの電極41、42には外部電源43から電圧Vが印加されており、電極41にはプラスの電荷「+」が、電極42にはマイナスの電荷「-」が供給され、電極間には電界Eが発生する。この状態において、図2(B)に示すように、導体44を電界Eの中に挿入すると電気力線45は切断され、その結果導体44の中の電界がゼロとなるように図2(A)の電気力線46とは逆方向に電気力線47を発生するべく導体44の表面に、マイナスとプラスの電荷が発生する。これは導体中に発生する電荷のことで、誘電分極で起こる電荷と区別するために、「真電荷」と呼ばれている。ここで、導体44に注目してみると、この導体44は外部に接続されていないにも関わらず、電界中にあることで導体の表面にプラスとマイナスの2種の電荷が発生してい

る。これは、単純な常識からすると理解し難い現象であるが、本発明の根幹をなす原理である。

#### 【0044】

図3は上述した静電誘導の原理を用いて、移動子10の櫛歯状電極12a、12bの櫛歯端電極部に真電荷のプラスとマイナスが交互に配置されるパターンを発生させる原理を説明する図である。固定子1の誘導電極3aには、外部電源43よりプラスが、誘導電極3bにはマイナスが印加されている。このとき、移動子10の櫛歯状電極12aの基部には、上述した静電誘導の原理によりマイナスの真電荷が誘起され、櫛歯状電極12aの櫛歯端にはプラスの真電荷が誘起される。一方、櫛歯状電極12bの基部には同様にしてプラスの真電荷が誘起され、櫛歯端にはマイナスの真電荷が誘起される。2つの櫛歯状電極12a、12bの櫛歯端が対峙する中央付近では電極同士が絶縁されて距離も近ことから、プラスとマイナスの電荷がお互いに引き合い、櫛歯表面にはある程度均一した密度で真電荷が分布する。このように、上述した静電誘導と2つの入れ子状に構成された櫛歯状電極によって、電極中央部付近ではプラスとマイナスの真電荷が交互に分布する交番電荷が形成される。

#### 【0045】

図4は、移動子10を変位駆動する原理を説明するための図である。図4(A)は移動子10が静止している状態を示すもので、固定子1の駆動電極4A、4B、4C、4Dには、電圧 $-$ 、 $-$ 、 $+$ 、 $+$ という具合に2個を一組として同極性電圧が印加されている。一方、移動子10の櫛歯状電極12aと12bが入れ子状になっている中央付近では、 $+$ 、 $-$ 、 $+$ 、 $-$ とプラス/マイナスの真電荷が交互に誘導されている。この状態では移動子10の電極ピッチが固定子電極ピッチの2倍であり、固定子電極(駆動電極4A、4B、4C、4D)の電荷と移動子電極(櫛歯状電極12a、12b)の電荷はプラスとマイナスまたはマイナスとプラスで最短距離に位置する関係になり、互いに引き付け合うクーロン力が働き、安定して静止することになる。

#### 【0046】

図4(B)は、固定子1の駆動電極4A、4B、4C、4Dに電圧 $+$ 、 $-$ 、 $-$ 、 $+$ を印加させた場合で、移動子10の櫛歯状電極12a、12bとの静電気のクーロン力により、移動子10が右方向に動こうとする力Fが働く。

#### 【0047】

より詳細には、櫛歯状電極12a、12bは斜め上右方向、斜め右下方向、上方向、下方向の力ベクトルが各電極に作用し、それらベクトル合成の結果、右方向の力ベクトルとなって力Fが働く。

#### 【0048】

この状態を保っておくと、図4(C)に示すように、移動子10が電極ピッチ $P_s$ に相当する距離だけ右移動し、固定子1と移動子10とのクーロン力が最大になる位置で静止する。この状態は、ピッチ $P_s$ だけ移動したことを除けば図4(A)と同じであり、変位後は安定して静止している。

#### 【0049】

次に、左方向へ変位する原理について説明する。図4(A)の状態から、図4(D)に示すように固定子1の駆動電極4A、4B、4C、4Dに、電圧 $-$ 、 $+$ 、 $+$ 、 $-$ を印加すると、移動子10の櫛歯状電極12a、12bには、各電極部が受けるクーロン力のベクトルの総和として左方向に動こうとする力Fが働く。

#### 【0050】

この状態を保っておくと図4(E)に示すように、移動子10が電極ピッチ $P_s$ に相当する距離だけ、左へ移動し、固定子1と移動子10とのクーロン力が最大になる位置で静止する。

#### 【0051】

このように、移動子10が動こうとするときには、各電極のクーロン力の総和として、右や左の方に変位しようとする力が働き、所定の位置まで変位したならば、移動子10は固

定子1との間に上下方向の力となって、固定子1にがっちりと吸引される。また見方を変えると、静止時にはがっちりと垂直方向に吸引保持されているが、一旦変位状態に移行すると、固定子1と移動子10の垂直方向には吸引力が働かなくなるので、摩擦の影響を受けにくく滑らかに移動できることになる。

#### 【0052】

今までの図2、図3、図4を用いての説明は、分かり易いように直流を用いて説明したが、実際は交流信号を用いて駆動するため、次に実際の交流駆動について説明する。

#### 【0053】

図2で説明した静電誘導の原理においては、電極41、42への印加電圧が交流になっても、回路時定数が小さい限り誘導電荷の極性がプラス/マイナス交互に切り替わるだけで、直流同様に静電誘導は起きる。 10

#### 【0054】

図5は、各電極へ印加される電圧によって交番電位分布を形成する様子を説明するもので、図5(A)は移動子10の櫛歯状電極12a、12bに静電誘導により発生した真電荷による電位波形を示す。ここで、黒塗り三角印の部分が櫛歯状電極12aのプラス電荷で作用する電位、二重丸印の部分が櫛歯状電極12bのマイナス電荷で作用する電位を示す。静電誘導では、導電体表面に真電荷を発生し、櫛歯状電極12aと12bのプラス/マイナス電荷同士が引き付き合うので、電極断面の両端に電荷が集まることになる。櫛歯状電極2ピッチで空間周波数1周期となり、サンプリングポイントとして4点あるため、サンプリング定理の条件を満たしている。 20

#### 【0055】

図5(B)は、櫛歯状電極12a、12bと固定子1の駆動電極4との断面の関係を示すもので、駆動電極4は図5(E)に示すように4個毎にまとめられて結線されている。ここにラインAにマイナス電位(丸印)、ラインBにゼロ電位(白抜き三角印)、ラインCにプラス電位(バツ印)、ラインDにゼロ電位(菱形印)を印加すると、固定子1の駆動電極4上の電位は、図5(C)に示すようになる。この電位分布(図5(C))と移動子10の電位分布(図5(A))の間には静電気のクーロン力が働くため、移動子10(櫛歯状電極12a、12b)には右方向へ動こうとする力が働く。

#### 【0056】

同様に、図5(D)はラインAにゼロ電位(丸印)、ラインBにマイナス電位(三角印)、ラインCにゼロ電位(バツ印)、ラインDにプラス電位(菱形印)を印加した場合の空間電位分布を示すもので、移動子10の電位分布(図5(A))との間には、移動子10(櫛歯状電極12a、12b)が左に動こうとするクーロン力が働く。 30

#### 【0057】

図5(E)は駆動電極4の結線を示すもので、ラインAは高圧トランス24aの2次側正極性巻き線へ、ラインCは同じ高圧トランス24aの2次側負極性巻き線に接続される。また、ラインBは高圧トランス24bの2次正極性巻き線へ、ラインDは高圧トランス24bの2次側負極性巻き線へ接続される。さらに、高圧トランス24aの一次側入力と、高圧トランス24bの一次側入力の位相を90度異ならせることで、図5(C)や図5(D)に示すような、正弦波状の空間電位分布を容易に作りだすことができる。 40

#### 【0058】

位相を変えるのは、図1(A)に示す位相器22で、図5(C)は高圧トランス24aの一次入力を高圧トランス24bの一次入力に対して、位相を90度進ませた場合を示し、図5(D)は同様に位相を90度遅らせた場合を示す。

#### 【0059】

この図5(E)で示す電極4とトランス24a、24bを用いた結線は、電極の配列空間を時間軸に当てはめて考えると、高周波信号を直交サンプリングして、実数部と虚数部とかなる複素数信号を作る技術と類似している。

#### 【0060】

なお、図5は、櫛歯状電極12a、12bにプラスとマイナスの交番電荷が形成される様 50

子を説明したものであるが、その櫛歯状電極 1 2 a, 1 2 b は、機能に応じて電極の部位を分けて考えることもできる。

#### 【0061】

即ち、同図において、固定子 1 の誘導電極 3 a, 3 b に対向して上部に位置している櫛歯状電極の基部は静電誘導を受ける元となる部分であるから被誘導電極部とし、それ以外の櫛歯状電極部は変位駆動されるときに作用を受けるものであるから被駆動電極部として分類できる。被駆動電極部は入れ子状になった 2 つの電極で構成され、前述の交番電荷がこの電極部に形成されることとなる。

#### 【0062】

図 6 は、固定子 1 の裏面より見た電極構成を詳細に示す図で、例えばポリイミド基材で構成された絶縁体 2 の裏面に駆動電極 4 をピッチ  $P_s$  で並べ、それを図 5 で説明した 4 個毎にまとめて縦のラインを用いて結線する。このとき、結線 A ラインおよび B ラインは裏面に、結線 C ラインおよび D ラインは表面にてスルーホールを径由して結線すると、左右対称になりまとまりが良い。

#### 【0063】

また、誘導電極 3 a, 3 b は固定子 1 の表面に配置され、それを端子 U と V で引き出す。このように、全ての電極結線が固定子 1 の表面と裏面のみで完結するため、固定子 1 は両面のフレキシブル P C 板などで簡単に製造することができる。

#### 【0064】

図 7 は、固定子 1 または移動子 1 0 に発生する進行波と、その進行波同士の作用によって移動子 1 0 が所定の速度で移動する原理を説明するための図である。

#### 【0065】

図 7 (A) は移動子 1 0 に発生する進行波を説明するもので、横軸が電極配列方向の空間、縦軸が時間軸を表す。ある時間  $t$  には、櫛歯状電極 1 2 a と 1 2 b には図 5 (A) で説明したように、電極空間に交番電位分布が生じる。この交番電位分布は  $2 P_m$  を 1 周期とする空間周波数を形成する。そして、図 7 (A) 右端に示されている周波数  $f_m$  の交流電圧を電極配列に印加すると、各電極に位相オフセットが加えられた状態で電位が周波数  $f_m$  で変化していく。即ち、電極配列に空間的な位相オフセットを与えて交流信号を印加すると、時間とともに空間上の電位分布が移動していく。これは、進行波と呼ばれ、移動子 1 0 の進行波速度  $V_m$  は図中の太い点線で示した傾きとなり次式で与えられる。

#### 【0066】

$$\begin{aligned} V_m &= \Delta d_m / \Delta t_m \\ &= 2 P_m \cdot f_m = 4 P_s \cdot f_m \end{aligned} \quad \cdots \cdots \text{(式1)}$$

これより、進行波速度は、電極間ピッチ  $P_m$  および交流電圧の周波数  $f_m$  が大きいほど大きくなることがわかる。

#### 【0067】

図 7 (A) の細い点線で示した波形は、櫛歯状電極 1 2 a, 1 2 b でゼロ電位となっているため実際には存在しないが、時間的に補間することにより得られる仮想的な空間電位分布波形である。

#### 【0068】

図 7 (B) は、固定子 1 の駆動電極 4 A, 4 B, 4 C, 4 D に発生する進行波を説明するための図である。移動子 1 0 の進行波速度  $V_m$  で説明したことと同様の原理により、駆動電極 4 A, 4 B, 4 C, 4 D に周波数  $f_s$  でオフセット位相を加えて印加すると、進行波が生じ、この進行波の移動速度  $V_s$  は、図中の太い実線で示され次式で与えられる。

#### 【0069】

$$\begin{aligned} V_s &= \Delta d_s / \Delta t_s \\ &= 4 P_s \cdot f_s = 2 P_m \cdot f_s \end{aligned} \quad \cdots \cdots \text{(式2)}$$

例えば、固定子印加周波数  $f_s$  を移動子印加周波数  $f_m$  の  $1/2$  とすると、進行波の移動

速度を示す図 7 (B) の太い実線の傾きは図 7 (A) に比べて  $1/2$  となる。

【0070】

つぎに、移動子 10 の電極配列空間に図 7 (A) で示す進行波が、固定子 1 の駆動電極の配列空間に図 7 (B) で示す進行波が発生している状態において、移動子 10 と固定子 1 は重ね合わせたときの動作を説明する。移動子 10 の電極の真電荷の極性と、固定子電極の真電荷の極性の組み合わせに応じて次の吸引力、反発力が働く。

【0071】

- (a) 移動子の電極 + , 固定子電極 - で 吸引力
- (b) 移動子の電極 - , 固定子電極 + で 吸引力
- (c) 移動子電極 + , 固定子電極 + で 反発力
- (d) 移動子電極 - , 固定子電極 - で 反発力

10

この関係により、図 7 (A) で示す移動子 10 の進行波と図 7 (B) で示す固定子 1 の進行波では、お互いのプラスの真電荷「波形の山部」とマイナスの真電荷「波形の谷部」が空間的に一致するようにクーロン力が働く。交流駆動で興味深いことは、上記組み合わせ (a) と組み合わせ (b) の関係または組み合わせ (c) と組み合わせ (d) の関係では、それぞれ極性が  $+/-$  で異なるものの、移動子 10 と固定子 1 が両方同時に極性反転すれば吸引/反発力は変化しないということである。このため、電極配列の真電荷極性が正弦波状に変化しても、相手側の真電荷極性も同様に正弦波状に変化すれば、静電気クーロン力の作用は図 4 において説明したように直流印加時に作用する静電力とほとんど同じである。

20

【0072】

このような作用を受けて、図 7 (C) に示すように固定子 1 の駆動電極 4 の進行波速度が、移動子 10 の進行波速度  $V_m$  と等しくなりように固定子 1 が動くこととなる。このとき図 7 (A) の太い点線傾きと、図 7 (C) の太い実線の傾きが同じくなり、固定子 1 の移動速度は  $V = \Delta d / \Delta t$  となる。説明の都合上、固定子 1 が速度  $V$  で動くとしたが、固定子を基準にすると移動子 10 が速度  $-V = -\Delta d / \Delta t$  で移動することになる。

【0073】

移動子 10 の速度  $V$  は次式で与えられる。

【0074】

$$\begin{aligned} V &= V_m - V_s \\ &= 2P_m \cdot f_m - 4P_s \cdot f_s \\ &= 4P_s (f_m - f_s) \end{aligned} \quad \cdots \cdots \text{(式3)}$$

30

次に、図 8 を用いて、固定子 1 または移動子 10 に発生する進行波同士の位相オフセット作用によって移動子 10 が所定の距離だけ変位する原理を説明する。

【0075】

ここで、図 8 (A) は、図 7 (A) で説明した進行波の図と全く同じで、太い点線で示したのが進行波の空間移動を示す軌跡である。

【0076】

所定の距離だけ移動子を動かすために、図 8 (B) に示すように、固定子 1 の駆動電極 4 に印加する交流電圧を周波数は同じままで、位相のみを途中から  $\Delta \theta$  だけオフセットさせる。このとき、進行波の空間移動の軌跡は、太い実線で示すように図 8 (A) の傾きと同じで、途中から段差をもったものとなる。

40

【0077】

このようにして、移動子 10 の電極配列に図 8 (A) で示す進行波が発生し、固定子 1 の駆動電極の配列には図 8 (B) で示す段差付きの進行波が発生している状態において、移動子 10 と固定子 1 を重ね合わせたときの動作を説明する。

【0078】

図 8 (C) は、移動子 10 の進行波と固定子 1 の進行波が静電気クーロン力で吸引しあっ

50

た状態を示すもので、図 8 (A) の太い点線で示される移動子の進行波の空間変位の軌跡に、図 8 (B) で示される固定子 1 の進行波の空間変位軌跡が一致するように重ねると、軌跡の段差が無くなる代わりに、固定子 1 の電位分布が空間方向に  $\Delta d$  だけシフトすることとなる。これは、基準を固定子 1 におくと移動子 10 が  $-\Delta d$  だけ単純に移動したと等価である。このように、固定子 1 の駆動電極 4 に印加する交流電圧の位相を  $\Delta \theta$  だけ変化（オフセット）させるだけで、移動子 10 の変位を  $\Delta d$  だけ動かすことができる。この変位量  $\Delta d$  は次式で与えられる。

【0079】

$$\Delta d = 4 P_s \cdot \Delta \theta / 2 \pi \quad \dots\dots (式 4)$$

この式から、 $\Delta \theta$  の設定を  $\pi / 2$  単位で設定すると、電極ピッチ  $P_s$  単位で変位することがわかる。また、電極ピッチ  $P_s$  を小さくするほど、位置決め精度は高くなる。 10

【0080】

また、固定子 1 または移動子 10 に与える位相オフセットは、180 度以上になると、ベクトル位相空間が第 3 象限となり急に負の位相オフセットと等価になり、位相オフセットが小さいときと逆の方向に移動子 10 が変位するため、ここで与える位相オフセットはプラス／マイナスの 180 度以下の位相オフセットとするのが好ましい。

【0081】

図 8 (A) の太い点線で示される移動子進行波の谷部分（マイナス真電荷）と図 8 (B) の太い実線で示される固定子進行波の山部分（プラス真電荷）で構成される凹凸部は、例えて言うとギヤのように噛み合う。この噛み合いの精度が高いほど、位置決め精度が高くなる。ギヤの歯数が少なく噛み合わせが粗くても、歯同士がうまく噛み合いガタが少ないと、ギヤの歯数以上に細かく回転制御することが可能となる。 20

【0082】

本発明もこのギヤと同様で、位相オフセット  $\Delta \theta$  を  $\pi / 2$  以内の精度で細かく設定すると電極ピッチ  $P$  以下の精度で変位可能となる。電極の構造や精度にもよるが、例えば位相オフセット  $\Delta \theta$  を  $\pm 5$  度と小さくすると、それに対応した変位量  $\Delta d$  は  $4 P_s \cdot 5 / 360 = P_s / 18$  となる。例えばこの場合、固定子電極のピッチ  $P_s$  を  $180 \mu m$  とすると、 $10 \mu m$  で微細の制御できることになる。

【0083】

図 9 は、交流駆動源 20 及び交流発生装置 21 をより詳細に説明するもので、参照番号 50 は交流源制御装置でダイレクトシンセサイザ技術を用いた IC や D/A 変換器、信号増幅用アンプなどを用いて構成される。 30

【0084】

アクチュエータを動作させる設定として、移動子 10 の速度  $V_{set}$  と、変位量  $D_{set}$  とを外部より入力する。

【0085】

この入力速度  $V_{set}$  は演算回路 51 に入力され、該演算回路 51 により  $\Delta f = V_{set} / 4 P_s$  を演算し、次段の交流発生装置 21 で  $G_s = \sin [2 \pi (f_m - \Delta f) t]$  を発生して、固定子 1 の駆動電極の配列に駆動周波数  $f_s = f_m - \Delta f$  の進行波をつくる。

【0086】

また、入力変位量  $D_{set}$  は演算回路 52 に入力され、該演算回路 52 により上記入力変位量  $D_{set}$  を変位量  $\Delta d$  として上記式 (4) より  $\Delta \theta = 2 \pi \cdot \Delta d / 4 P_s$  を演算し、次段の交流駆動源 20 で  $G_m = \sin [2 \pi f_m t + \Delta \theta]$  を発生して、固定子 1 の駆動電極の配列に進行波をつくる。 40

【0087】

ここで、移動子 10 の速度  $V$  は、前述式 (3) より固定子 1 の駆動周波数  $f_s$  と移動子 10 の駆動周波数  $f_m$  との差によって決まるので、差の周波数  $\Delta f$  によって移動子 10 の速度  $V$  が決定され、移動子 10 の位置は駆動交流源  $G_m$  と  $G_s$  の位相差  $\Delta \theta$  によって決定される。

【0088】

この位相と周波数との関係は、変位と速度との関係とうまく対応している。即ち、移動子 10 の速度  $V$  は変位量  $\Delta d$  の時間微分  $V = \Delta d / \Delta t$  で与えられ、駆動交流源  $G_m$  と  $G_s$  の周波数差  $\Delta f$  で決定される。一方、この周波数差  $\Delta f$  は位相の時間微分と  $\Delta f = \Delta \theta / \Delta t$  の関係があるために、次のような関係が成立する。

【0089】

$V \rightarrow \Delta f$

$\Delta d \rightarrow \Delta \theta$

静止している状態すなわち移動速度がゼロの場合は、周波数の差  $\Delta f$  をゼロとし、例えば右方向では周波数差  $\Delta f$  が正となるように、左方向へ動かすには周波数差  $\Delta f$  が負となるように、設定すればよい。

【0090】

また、移動速度は周波数差で、変位は位相差で独立して設定することができ、特に位相差を与えることでダイレクトに変位制御できることは、エンコーダなどの位置センサが不要になり制御が極めて簡単になる。特に、所定の位相差を回数を分けて印加することで、リニアステッピングモータのような使用法ができ、オープンループで簡単に位置決めができる。

【0091】

以上は、主に移動子 10 への給電線が不要となる静電誘導を用いた静電アクチュエータについて説明したが、移動子 10 へ直接に給電線を接続して、移動子 10 の電極配列に進行波を発生させても良い。これまでの説明では、移動子 10 は櫛歯状電極 12a および 12b で構成されているので、それら電極に単相の交流電源を直接接続することで、櫛歯状電極配列に進行波の電位分布が発生する。このときの移動子電極の配列ピッチは、図 5 で示したように、固定子駆動電極の配列ピッチの 2 倍とする。

【0092】

このように直接移動子 10 へ給電するようにすると、静電誘導による電圧低下がなくなり、効率の良い駆動が可能となる。

【0093】

[第 2 の実施の形態]

次に、本発明の第 2 の実施の形態を説明する。

【0094】

図 10 は、本発明の第 2 の実施の形態に係る静電アクチュエータを示す図で、円盤状の固定子 60 と、その上に回転子 61 が乗っており、駆動動力回路は、図 1 (A) と同様である。

【0095】

円盤状固定子 60 に配置される誘導電極は円内側と円外側に円周上に配置され、駆動電極は中心から放射状に配置される。回転子 61 には、2 個の櫛歯状電極を入れ子状にして、その櫛歯が放射状に並び、且つ櫛歯状電極基部が円周内側と円周外側に並ぶようにして配置される。回転駆動時には、回転バランスが保たれ自然に中心 62 で回転するため、回転子中心には、回転ずれを防ぐためのベアリング等な回転機構があっても無くてもよい。

【0096】

このような回転型アクチュエータでは、回転子の櫛歯状電極には静電誘導で真電荷が供給されるため、スリップリングなどの回転伝達部材が不要になるので、回転がスムーズとなる。

【0097】

また、上記第 1 の実施の形態で説明したように、位相を変化させることにより、所定の角度だけ回転することもできる。

【0098】

このようにオープンループで正確に所定角だけ回転する作用は、従来の電磁式ステッピングモータと類似するものである。

【0099】



## 〔第3の実施の形態〕

次に、本発明の第3の実施の形態を説明する。

## 【0100】

図11は、本発明の第3の実施の形態に係る静電アクチュエータを示す図で、円筒状固定子70の外側に円筒状移動子71を配置し、円筒軸上を円筒状移動子71が平行移動するアクチュエータである。駆動回路は、図1(A)や図10で示した構成と同様である。

## 【0101】

円筒状移動子71には櫛歯状電極72a、72bを配置しており、その電極基部が効率よく静電誘導を行うべく円筒状固定子70には、誘導電極73a、73bが円筒状移動子71の櫛歯状電極72a、72bと対向して配置されている。

10

## 【0102】

また、円筒状移動子71は円筒状固定子70の外側と説明したが、図示しないが円筒状固定子70の内側へ配置することも容易に可能である。

## 【0103】

このような円筒移動型アクチュエータは、動作的にはシリンダ／ピストンの動作と類似しているが、内部を中空にできるメリットがある。

## 【0104】

## 〔第4の実施の形態〕

次に、本発明の第4の実施の形態を説明する。

## 【0105】

図12は、本発明の第4の実施の形態に係る静電アクチュエータを示す図で、円筒状固定子80の外側に円筒状回転子81を配置し、櫛歯状電極82a、82bの駆動電極および図示しない固定子の駆動電極の並びを円筒軸と平行に並べたもので、円筒状回転子81を円周方向に回転する静電アクチュエータである。円筒状固定子80には、誘導電極83を、移動子である円筒状回転子81の櫛歯状電極82aの基部に対向して配置する。また、図示されていないが、櫛歯状電極82b側にも誘導電極83が配置されている。

20

## 【0106】

このような構成のアクチュエータは、ローラ回転するもので、この場合も図10で説明した円盤型回転アクチュエータと同様に、移動子（円筒状回転子81）へ電荷を供給するためのスリップリングなどの接続機構が不要になり、構成が極めて簡単になる。

30

## 【0107】

## 〔第5の実施の形態〕

次に、本発明の第5の実施の形態を説明する。

## 【0108】

図13は、本発明の第5の実施の形態に係る静電アクチュエータを示す図で、静電アクチュエータの出力を増大するために、固定子1と移動子10を組として、それらを複数組重ねて積層したものである。ここで、参照番号90は固定子1の連結部材、参照番号91は移動子10の連結部材をそれぞれ示し、この図において外部電源を印加して制御することで、複数の移動子10が連結部材91と共に左右に移動する。

## 【0109】

なおここでは、固定子1と移動子10を組としたが、図示しないが固定子1の上面／裏面の2面に移動子10を対向して合わせる、または二枚の固定子1の間に移動子10を挟み込んで、それらの組を複数積層化する場合も考えられる。

40

## 【0110】

複数の固定子1は、連結部材90で機械的に結合されると同時に電氣的にも接合する必要があるが、複数の移動子10は特に電氣的結合をとる必要は無いために、比較的構成が簡単になる。

## 【0111】

## 〔第6の実施の形態〕

次に、本発明の第6の実施の形態を説明する。

50

## 【0112】

図14は、本発明の第6の実施の形態に係る静電アクチュエータを示す図で、図10で説明した静電アクチュエータの出力トルクを増大するために、円盤状固定子60と移動子である回転子61の重ね合せペアを複数個積層したものである。ここで、参照番号92は複数の回転子61同士を機械的に接合する回転連結部材で、出力トルクはこの軸から取り出す。

## 【0113】

なおここでは、円盤状固定子60と回転子61を組としたが、図示しないが円盤状固定子60の上面／裏面の2面に回転子61を対向して合わせる、または二枚の円盤状固定子60の間に回転子61を挟み込んで、それらの組を複数積層化する場合もある。

10

## 【0114】

複数の円盤状固定子60は中心を合わせて電気結合する必要があるが、回転体は回転連結部材92に機械的に連結するだけでよいので、プラスチックなどの絶縁材などを使用することもでき、とくにスリップリングなども必要ないため、比較的構造が簡単となる。

## 【0115】

## [第7の実施の形態]

次に、本発明の第7の実施の形態を説明する。

## 【0116】

今まで説明した第1乃至第6の実施の形態では、固定子（例えば固定子1）の駆動電極4は、ラインA、ラインB、ラインC、ラインDと4つ毎にまとめられていたが、本発明の第7の実施の形態として、3相交流電源により駆動する例を図15を参照して説明する。

20

## 【0117】

即ち、図15は、各電極へ印加される電圧によって交番電位分布を形成する様子を説明するもので、図5と同様に、図15(A)は移動子10の櫛歯状電極12a、12bに静電誘導により発生した真電荷による電位波形を示す。ここで、黒塗り三角印の部分が櫛歯状電極12aのプラス電荷で作用する電位、二重丸部分が櫛歯状電極12bのマイナス電荷で作用する電位をそれぞれ示す。静電誘導では、導電体表面に真電荷を発生し、櫛歯状電極12aと12bのプラス／マイナス電荷同士が引き付き合うので、電極断面の両端に電荷が集まることになる。櫛歯状電極2ピッチで空間周波数1周期となり、サンプリングポイントとして4点あるため、サンプリング定理を満たしている。

30

## 【0118】

図15(B)は、櫛歯状電極12a、12bと固定子1の3相駆動電極4R、4T、4Sとの断面の関係を示すもので、駆動電極4は図15(E)に示すように3個毎にまとめられて結線されている。ここにラインRの電位を丸印、ラインTの電位を三角印、ラインSの電位を菱形印でそれぞれ示し、電極配列全体の駆動電極4上の電位は、図15(C)に示すようになる。この電位分布（図15(C)）と移動子10の電位分布（図15(A)）の間には静電気のクーロン力が働くため、移動子10（櫛歯状電極12a、12b）には右方向へ動こうとする力が働く。

## 【0119】

同様に、図15(D)は、3相駆動電極4R、4T、4Sに別の電位を印加した場合の空間電位分布を示すもので、この場合、移動子の電位分布（図15(A)）との間には、移動子10（櫛歯状電極12a、12b）が左に動こうとするクーロン力が働く。3相駆動電極4R、4T、4Sは3相交流駆動源30で駆動され、この電源の周波数や位相を可変することで、移動速度や変位を変える。

40

## 【0120】

このように、3相交流電源によって駆動することができる。

## 【0121】

以上実施の形態に基づいて本発明を説明したが、本発明は上述した実施の形態に限定されるものではなく、本発明の要旨の範囲内で種々の変形や応用が可能なことは勿論である。

## 【0122】

50

例えば、図3や図5を用いて説明した移動子の電極は、2つの入れ子状になった櫛歯状電極を用いて説明したが、必ずしも入れ子状にしなくても、被誘導電極部と被駆動電極部を有して静電誘導で真電荷を誘起できれば他の方法でも良い。例えば、被誘導電極部と被駆動電極部とが一体に構成されたもの以外に、各々を別体で構成して、電氣的に接続するようにしても良い。

#### 【0123】

今までの説明では、移動子を動かしたり回転するように説明してきたが、実際にはこの移動子に機械的な連結を行い、変位対象物全体を移動または回転させるものも含まれる。

#### 【0124】

また、変位対象物の表面に電極を直接配設させて変位対象物自体を移動子とさせても良い 10

#### 【0125】

さらに、変位させる対象は移動子側だけでなく、移動子を固定して給電側の固定子を変位させても良い。

#### 【0126】

また、図8および図9を用いての位相オフセットによる変位駆動は、移動子への電荷供給を静電誘導を行うことを前提に説明したが、これは静電誘導を用いた静電アクチュエータに限定されるものではなく、従来の移動子へ直接給電する静電アクチュエータにも適用できる。即ち、図示しないが移動子へ接続する交流電源と、固定子に接続する多相の交流電源の間に位相オフセットを与えることで、図8で説明したように、移動子と固定子の進行波同士の間位相ずれが発生し、その位相ズレを無くそうと移動子位相オフセットに対応する距離だけ変位することになる。また、上記で図9を用いて説明したように、変位させたい変位量 $\Delta d$ に対応する位相オフセット $\Delta \theta$ を与えるだけで、一意的に移動子を変位する。さらには、この位相オフセットをプラス/マイナスの180度以下の小さな値とすることで、固定子の駆動電極のピッチ以下の細かい精度で位置決めすることが可能となる。 20

#### 【0127】

また、本発明の静電アクチュエータは、固定子へは直接に、移動子へは静電誘導または直接に交流電圧を印加するよう説明したが、この交流電圧の周波数は商用電源の周波数に関係なく高い周波数を用いることができる。特に、移動子10の移動速度は、固定子1と移動子10に加える交流駆動源の周波数の差によって決まるため、共に例えば1MHz近くの高い周波数に設定することが可能である。周波数を高く設定できるため、高圧トランス24a、24bの小型化が図れるメリットがある。 30

#### 【0128】

また、交流で駆動するため、常に電極がプラス/マイナスと変化するため、不用意な帯電がなくなり、安定した動作が可能となる。

#### 【0129】

以上説明してきた実施の形態によれば、図1(A)、図11、図13で示した平行移動型の静電アクチュエータでは、固定子を長くすることによって、どこまでも移動子の距離移動幅を大きくできる。

#### 【0130】

また、図10、図11、図14で説明した静電アクチュエータでは、スリッピングなどの回転伝導部材が要らないため、薄型・小型化が可能になるとともに、安定した回転が可能となる。 40

#### 【0131】

(付記)

前記の具体的実施の形態から、以下のような構成の発明を抽出することができる。

#### 【0132】

(1) 電極を有する移動子と、誘電電極および駆動電極を有する固定子と、からなる静電アクチュエータであって、

前記移動子の電極の一部がそれぞれ前記固定子の誘導電極と駆動電極と対向するように配 50

置され、  
前記移動子の電極には直接、電圧を印加せず、  
前記固定子の誘導電極と駆動電極のそれぞれに所定の電圧を印加することで、  
前記移動子と前記固定子とを相対的に変位させることを特徴とする静電アクチュエータ。

【0133】

(対応する実施の形態)

この(1)に記載の静電アクチュエータに関する実施の形態は、第1乃至第7の実施の形態が対応する。

(作用効果)

この(1)に記載の静電アクチュエータによれば、移動子へ給電・印加することなく、固定子の駆動電極部との間に静電力を働かせて、移動子と固定子を相対的に変位させることができる。

【0134】

(2) 前記固定子の誘導電極に電圧を印加することで、前記移動子の電極に静電誘導で電荷を発生させることを特徴とする(1)に記載の静電アクチュエータ。

【0135】

(対応する実施の形態)

この(2)に記載の静電アクチュエータに関する実施の形態は、第1乃至第7の実施の形態が対応する。

(作用効果)

この(2)に記載の静電アクチュエータによれば、固定子にのみ電圧を印加して、移動子の電極に電荷を発生させるために、移動子へ直接給電する必要がない。

【0136】

(3) 固定子と移動子とからなり、前記固定子に配設された駆動電極と前記移動子に配設された電極との間に静電力を生じさせて前記移動子を前記固定子に対し相対的に変位させる静電アクチュエータであって、  
前記固定子に前記駆動電極とは別の、前記移動子の電極に静電誘導を生じさせるための誘導電極を配設すると共に、  
前記移動子の電極を、前記固定子の駆動電極に対向する位置に設けられた被駆動電極部と前記固定子の誘導電極に対向する位置に設けられた被誘導電極部とより構成し、  
前記固定子の誘導電極に電圧を印加することにより前記被誘導電極部を介して前記移動子の電極に静電誘導を生じさせつつ、前記固定子の駆動電極に電圧を印加することにより当該駆動電極と前記静電誘導の生じた移動子における前記被駆動電極部との間に静電力を生じさせて前記移動子を前記固定子に対し相対的に変位させることを特徴とする静電アクチュエータ。

【0137】

(対応する実施の形態)

この(3)に記載の静電アクチュエータに関する実施の形態は、第1乃至第7の実施の形態が対応する。

(作用効果)

この(3)に記載の静電アクチュエータによれば、固定子の誘導電極部に電圧を印加することで、移動子の被誘導電極部を介して移動子の電極に静電誘導を発生させ、移動子の被駆動電極部と固定子の駆動電極部との間で静電気によるクーロン力を発生させて、移動子を固定子に対して相対的に変位させることができる。従って、移動子の電極に直接電圧を印加する必要がなくなる。

【0138】

(4) 前記移動子の誘導電極を、略櫛歯形状且つ入れ子状に相対配置された第1電極と第2電極とで構成し、前記被誘導電極部を略櫛歯形状の基部に対応させ、前記被駆動電極部を略櫛歯形状の櫛歯端を含む櫛歯部で対応させたことを特徴とする(3)に記載の静電アクチュエータ。

## 【0139】

(対応する実施の形態)

この(4)に記載の静電アクチュエータに関する実施の形態は、第1乃至第7の実施の形態が対応する。

(作用効果)

この(4)に記載の静電アクチュエータによれば、移動子の被誘導電極部を略櫛歯形状の基部、被駆動電極部を略櫛歯形状の櫛歯部で対応し、それらを入れ子状に相対配置した第1電極と第2電極とで構成することで、静電誘導による電荷の移動・集積が効果的に行われる。

## 【0140】

10

(5) 略平行または同心円状に配置された2個以上の誘導電極および所定周期で配置された複数の駆動電極を有する固定子と、

少なくとも2個の組み合わされた電極構造を有する移動子と、

から構成され、

前記固定子の誘導電極を經由し前記移動子の電極へ電荷を発生させ、前記電荷と前記固定子の駆動電極との間に静電力を発生させて前記移動子を変位させることを特徴とする静電アクチュエータ。

## 【0141】

(対応する実施の形態)

この(5)に記載の静電アクチュエータに関する実施の形態は、第1乃至第7の実施の形態が対応する。 20

(作用効果)

この(5)に記載の静電アクチュエータによれば、静電誘導の原理に基づき、移動子の櫛歯状電極へ電荷を誘導して交番電荷分布をつくり、これと対向して固定子上の駆動電極に電荷を供給して静電気によるクーロン力を発生させて、移動子を変位させる。従って、移動子への結線が不要である。

## 【0142】

(6) 前記固定子の表面上部に前記移動子を配置し、前記固定子の誘導電極へ第1交流電圧を印加し且つ前記固定子の駆動電極へ第2交流電圧を印加して、導電未接続の前記移動子を変位させることを特徴とする請求項(1)乃至(5)の何れかに記載の静電アクチュエータ。 30

## 【0143】

(対応する実施の形態)

この(6)に記載の静電アクチュエータに関する実施の形態は、第1乃至第7の実施の形態が対応する。

(作用効果)

この(6)に記載の静電アクチュエータによれば、固定子の誘導電極と駆動電極に第1および第2の交流電源を印加するだけで、移動子には直接電源を印加させなくても、移動子の速度および変位を制御できる。

## 【0144】

40

(7) 前記固定子は、前記誘導電極および所定周期且つ4個毎に結線配置された駆動電極とを有し、

前記移動子は、入れ子状に相対配置された第1電極と第2電極とを有し、

前記移動子の第1電極と第2電極からなる配列ピッチは、前記固定子の駆動電極の配列ピッチの2倍とし、

前記固定子の誘導電極へ前記第1交流電圧を印加することで前記移動子の第1電極および第2電極へ電荷を発生させて前記移動子の電極配列に第1進行波を発生させ、

前記固定子の駆動電極へ4相の前記第2交流電圧を印加して前記駆動電極の配列に第2進行波を発生させ、

その第1進行波と第2進行波の時間変位の差に従って前記移動子を変位させることを特徴 50

とする(6)に記載の静電アクチュエータ。

【0145】

(対応する実施の形態)

この(7)に記載の静電アクチュエータに関する実施の形態は、第1乃至第6の実施の形態が対応する。

(作用効果)

この(7)に記載の静電アクチュエータによれば、単純な静電誘導を採用しない静電アクチュエータにおいても、移動子を単相駆動で、固定子を4相駆動とすることで、移動子を変位させることができる。この場合においては、移動子への接続線の数が最小数である2本で済み、また移動子を片面のプリント基板上で製作することができる。

10

【0146】

(8) 前記第1交流電圧と前記第2交流電圧の周波数差によって前記移動子の速度を制御することを特徴とする(7)に記載の静電アクチュエータ。

【0147】

(対応する実施の形態)

この(8)に記載の静電アクチュエータに関する実施の形態は、第1乃至第7の実施の形態が対応する。

(作用効果)

この(8)に記載の静電アクチュエータによれば、外部より印加する2つの交流電源の周波数差が速度に関係することを利用して、移動子の動きが制御される。

20

【0148】

(9) 前記第1交流電圧と前記第2交流電圧の周波数差をゼロとすることで、前記移動子を静止させることを特徴とする(7)に記載の静電アクチュエータ。

【0149】

(対応する実施の形態)

この(9)に記載の静電アクチュエータに関する実施の形態は、第1乃至第7の実施の形態が対応する。

(作用効果)

この(9)に記載の静電アクチュエータによれば、電源断による静止でないため、移動子に保持力が働き外力が加わってもその場に止まろうとする。

30

【0150】

(10) 前記固定子は、絶縁基材の裏面に所定ピッチで前記駆動電極を配置し、それぞれ第1乃至第4の共通ラインを設けて前記駆動電極の配列方向と略平行に配置し、それら第1乃至第4の共通ラインのうち2本を表面に他の2本を裏面に配置して4個毎に前記駆動電極に結線し、それらの共通ラインと略平行して前記移動子へ誘導電荷を供給する前記誘導電極を表面に配置することにより構成され、その固定子の表面側に前記移動子を重ねたことを特徴とする(7)に記載の静電アクチュエータ。

【0151】

(対応する実施の形態)

この(10)に記載の静電アクチュエータに関する実施の形態は、第1乃至第7の実施の形態が対応する。

40

(作用効果)

この(10)に記載の静電アクチュエータによれば、このように電極の共通ラインを結線することで、固定子を単純にまとまりよく構成でき、両面フレキシブルPC板などで構成できる。また静電誘導も効率よく行われる。

【0152】

(11) 前記移動子の第1電極と第2電極とからなる電極配列の電極幅と配列ピッチの長さ比を1/3乃至2/3としたことを特徴とする(7)に記載の静電アクチュエータ。

【0153】

50

(対応する実施の形態)

この(11)に記載の静電アクチュエータに関する実施の形態は、第1乃至第7の実施の形態が対応する。

(作用効果)

この(11)に記載の静電アクチュエータによれば、静電誘導の原理に基づくと、導体表面に誘起される電荷は電極の端の方に集まる特性があり、またサンプリング定理から電荷位置は等間隔に位置するのが望ましく、電極幅と配列ピッチの比を $1/2$ とすると、良好な電位分布が形成される。

【0154】

(12) 前記固定子を、少なくとも、絶縁基材表面に所定ピッチで配置される駆動電極の配列と、前記駆動電極を4個毎にまとめて結線する第1乃至第4の共通ラインとで構成し、

前記固定子の駆動電極の配列空間に0度位相および180度位相の交流電位を発生する第1トランスと、

前記固定子の駆動電極の配列空間に90度位相および270度位相の交流電位を発生する第2トランスと、

を更に有し、

前記第1トランスの1次側に印加する電圧と前記第2トランスの1次側に印加する電圧の位相が90度異なることを特徴とする(7)に記載の静電アクチュエータ。

【0155】

(対応する実施の形態)

この(12)に記載の静電アクチュエータに関する実施の形態は、第1乃至第6の実施の形態が対応する。

(作用効果)

この(12)に記載の静電アクチュエータによれば、このようなトランス回路を採用することで、簡便にして最小限の部品で高圧且つ多相の交流駆動源を構成することができる。また、移動子に発生する第1進行波と固定子の発生する第2進行波を効率良く発生でき、且つ簡単な回路で構成できる。

【0156】

(13) 前記固定子の駆動電極の配列空間に0度位相および180度位相の交流電位を発生する第1トランスと、

前記固定子の駆動電極の配列空間に90度位相および270度位相の交流電位を発生する第2トランスと、

を更に有し、

前記第1トランスと前記第2トランスの2次出力を、前記固定子の共通ラインに接続し、前記第1トランスの1次側入力と前記第2トランスの1次側入力の位相が90度異なることを特徴とする(10)に記載の静電アクチュエータ。

【0157】

(対応する実施の形態)

この(13)に記載の静電アクチュエータに関する実施の形態は、第1乃至第6の実施の形態が対応する。

(作用効果)

この(13)に記載の静電アクチュエータによれば、固定子と高電圧を発生するトランスをまとまりよく構成することができる。

【0158】

(14) 前記移動子の電極は、櫛歯状形状を有する第1電極と略同形状の第2電極とを入れ子状に相対して配置してなることを特徴とする(1)乃至(7)の何れかに記載の静電アクチュエータ。

【0159】

(対応する実施の形態)

この(14)に記載の静電アクチュエータに関する実施の形態は、第1乃至第7の実施の形態が対応する。

(作用効果)

この(14)に記載の静電アクチュエータによれば、入れ子状に相對配置することで、第1電極の櫛歯端の電荷と第2電極の櫛歯端の電荷が吸引しあうために、誘導電荷が電極一面に分散され易くなる。

【0160】

(15) 複数個の前記移動子を連結する第1連結部材と、  
複数個の前記固定子を連結する第2連結部材と、  
を更に有し、

10

前記第1連結部材および前記第2連結部材を介して前記移動子と前記固定子を複数重ねて、複数の前記移動子と前記第1連結部材とが移動することを特徴とする(1)乃至(7)の何れかに記載の静電アクチュエータ。

【0161】

(対応する実施の形態)

この(15)に記載の静電アクチュエータに関する実施の形態は、第5の実施の形態が対応する。

(作用効果)

この(15)に記載の静電アクチュエータによれば、積層化することで、パワーを増大することができる。

20

【0162】

(16) 前記移動子は、櫛歯状の端電極が放射状に広がる第1電極と、櫛歯状の端電極が求心して配置される第2電極とが入れ子状に相對して配置された回転する移動子であり、

前記固定子は、円盤円周上に配置された2個以上の誘導電極と所定の周期角をもって複数毎に結線配置された駆動電極が組み込まれたものであることを特徴とする(1)乃至(7)の何れかに記載の静電アクチュエータ。

【0163】

(対応する実施の形態)

この(16)に記載の静電アクチュエータに関する実施の形態は、第2及び第6の実施の形態が対応する。

30

(作用効果)

この(16)に記載の静電アクチュエータによれば、電極配列を円形とすることで回転型を実現する。特に、回転体に電荷供給線を接続する必要がなく、スリップリングなどの回転伝達部材が不要となり、理想的な静電アクチュエータが実現できる。

【0164】

(17) 前記回転子と前記固定子とを回転軸を共通にして複数段に積層化し、複数の回転子により発生する回転トルクを回転軸共通として取り出すことを特徴とする(16)に記載の静電アクチュエータ。

【0165】

40

(対応する実施の形態)

この(17)に記載の静電アクチュエータに関する実施の形態は、第6の実施の形態が対応する。

(作用効果)

この(17)に記載の静電アクチュエータによれば、積層化して、回転トルクを増大させる。この時も回転体に電荷供給線を接続する必要がなく、比較的単純な構成となる。

【0166】

(18) 前記移動子は、櫛歯状形状を有する第1電極と略同形状の第2電極が入れ子状に相對して配置され、且つ前記第1電極と前記第2電極の配列方向が直線となるように円筒面内に配置されたものであり、

50



前記固定子は、円筒直線上に配置された２個以上の誘導電極と直線配列となるよう配置された駆動電極が組み込まれて構成されることを特徴とする（１）乃至（７）の何れかに記載の静電アクチュエータ。

【０１６７】

（対応する実施の形態）

この（１８）に記載の静電アクチュエータに関する実施の形態は、第３の実施の形態が対応する。

（作用効果）

この（１８）に記載の静電アクチュエータによれば、円柱化することで、ピストン／シリンダ的な使用法が可能となる。

10

【０１６８】

（１９） 前記移動子は、櫛歯状形状を有する第１電極と略同形状の第２電極が入れ子状に相対して配置され、且つ前記第１電極と前記第２電極の配列方向が円となるように円筒面内に配置された、周回転する移動子であり、

前記固定子は、円筒円周上に配置された２個以上の誘導電極と円周配列となるよう配置された駆動電極が組み込まれて構成されることを特徴とする（１）乃至（７）の何れかに記載の静電アクチュエータ。

【０１６９】

（対応する実施の形態）

この（１９）に記載の静電アクチュエータに関する実施の形態は、第４の実施の形態が対応する。

20

（作用効果）

この（１９）に記載の静電アクチュエータによれば、簡便にして、円柱ローラ回転が実現でき、この場合の回転体への電荷供給線が不要となるため、単純な構成となる。

【０１７０】

（２０） 前記固定子の駆動電極を３相以上の多相交流電圧で駆動するもので、前記移動子の第１電極および第２電極で構成される１周期ピッチが多相交流電源で駆動される駆動電極の１周期ピッチと等しいことを特徴とする（１）乃至（７）の何れかに記載の静電アクチュエータ。

【０１７１】

30

（対応する実施の形態）

この（２０）に記載の静電アクチュエータに関する実施の形態は、第７の実施の形態が対応する。

（作用効果）

この（２０）に記載の静電アクチュエータによれば、固定子の駆動は４相以外でも実現可能となる。３相では電極の数を減らすことができる。

【０１７２】

（２１） 前記変位は直線移動であることを特徴とする（１）乃至（２０）の何れかに記載の静電アクチュエータ。

【０１７３】

40

（対応する実施の形態）

この（２１）に記載の静電アクチュエータに関する実施の形態は、第１、第３、第５、第７の実施の形態が対応する。

（作用効果）

この（２１）に記載の静電アクチュエータによれば、移動子を固定子に対して相対的に直線移動させることができる。

【０１７４】

（２２） 前記変位は回転であることを特徴とする（１）乃至（２０）の何れかに記載の静電アクチュエータ。

【０１７５】

50

(対応する実施の形態)

この(22)に記載の静電アクチュエータに関する実施の形態は、第2、第4、第6、第7の実施の形態が対応する。

(作用効果)

この(22)に記載の静電アクチュエータによれば、移動子を固定子に対して相対的に回転させることができる。

【0176】

(23) 移動子の電極とその一部が対向するそれぞれ異なる位置に誘電電極と駆動電極とを配置し、

前記誘導電極に電圧を印加することで、前記移動子の電極に静電誘導で電荷を発生させ、 10

前記駆動電極と前記移動子の電極に発生した前記電荷との静電力により、

前記移動子の電極と前記駆動電極との相対位置を変位させることを特徴とする変位方法。

【0177】

(対応する実施の形態)

この(23)に記載の変位方法に関する実施の形態は、第1乃至第7の実施の形態が対応する。

(作用効果)

この(23)に記載の変位方法によれば、誘導電極へ給電印加することで移動子の電極に静電誘導で電荷を発生させ、駆動電極と移動子の電極に発生した電荷との静電力により移動子電極を変位させる。従って、移動子へ直接、給電印加する必要がない。 20

【0178】

(24) 固定子に配設された駆動電極と移動子に配設された電極との間に静電力を生じさせて前記移動子を前記固定子に対し相対的に変位させる変位方法であって、

前記固定子に、前記駆動電極とは別の、前記移動子の電極に静電誘導を生じさせるための誘電電極を配設し、

前記固定子の誘導電極に電圧を印加して、前記移動子の電極に静電誘導を生じさせつつ前記駆動電極に電圧を印加することにより当該駆動電極と前記移動子の電極との間に静電力を生じさせて、

前記移動子を前記固定子に対し相対的に変位させることを特徴とする変位方法。

【0179】

30

(対応する実施の形態)

この(24)に記載の変位方法に関する実施の形態は、第1乃至第7の実施の形態が対応する。

(作用効果)

この(24)に記載の変位方法によれば、誘導電極に電圧を印加して前記移動子の電極に静電誘導を生じさせつつ前記駆動電極に電圧を印加することにより駆動電極と移動子の電極との間に静電力を生じさせて、移動子を変位させる。

駆動電極とは別の誘導電極を設けたことで、移動子へ直接給電印加しなくても電荷を供給して、静電力を生じさせることが可能となる。

【0180】

40

【発明の効果】

以上詳述したように、本発明によれば、移動子への電荷供給線を無くして変位を単純な構成で可能とすると共に、所定の表面抵抗率を持つ材質を選択する必要をなくし、電荷の充電を不要にした静電アクチュエータおよび変位方法を提供することができる。

【0181】

即ち、本発明の静電アクチュエータによれば、静電誘導により移動子へ電荷を供給して、入れ子状の櫛歯状電極に交番電荷分布を持つ進行波を発生させると共に、固定子の駆動電極に進行波を発生させて、この進行波同士の相対関係より移動子を動かすもので、下記のような多くの効果がある。

【0182】

50

(a) 移動子への電荷供給線が不要となるために、電荷供給線の断線などの問題がなくなると共に、線材の機械的な負荷が無くなることで安定した動作が可能となる。

【0183】

(b) 移動子はいれ子状の櫛歯状電極で構成されるため、表面抵抗率などの制限がなくなり材料の選択幅が広がり、湿気などの外部環境に左右されにくく安定した動作が可能となる。

【0184】

(c) 初期充電や、動作途中での電荷充電サイクルなどが不要であり、立ち上がり特性が良く、高速応答特性に優れた動作が可能となる。

【0185】

(d) 移動子と固定子に印加させる交流駆動源の周波数差で移動子の速度が決定されるので、高い周波数を用いても静止や超低速の移動が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】(A)は本発明の第1の実施の形態に係る静電アクチュエータの概略構成を示す図、(B)は固定子の構成を説明するための図であり、(C)は移動子の構成を説明するための図である。

【図2】静電誘導の原理を説明するための図である。

【図3】入れ子になった櫛歯状電極に交番電荷が発生する原理を説明するための図である。

【図4】移動子に変位駆動される原理を説明するための図である。

【図5】移動子および固定子の真電荷がつくる電位分布を説明するための図である。

【図6】固定子の電極構造を詳しく説明するための図である。

【図7】移動時の進行波の関連を説明するための図である。

【図8】変位時の進行波の関連を説明するための図である。

【図9】交流駆動源制御装置を説明するための図である。

【図10】本発明の第2の実施の形態に係る静電アクチュエータの構成を示す図である。

【図11】本発明の第3の実施の形態に係る静電アクチュエータの構成を示す図である。

【図12】本発明の第4の実施の形態に係る静電アクチュエータの構成を示す図である。

【図13】本発明の第5の実施の形態に係る静電アクチュエータの構成を示す図である。

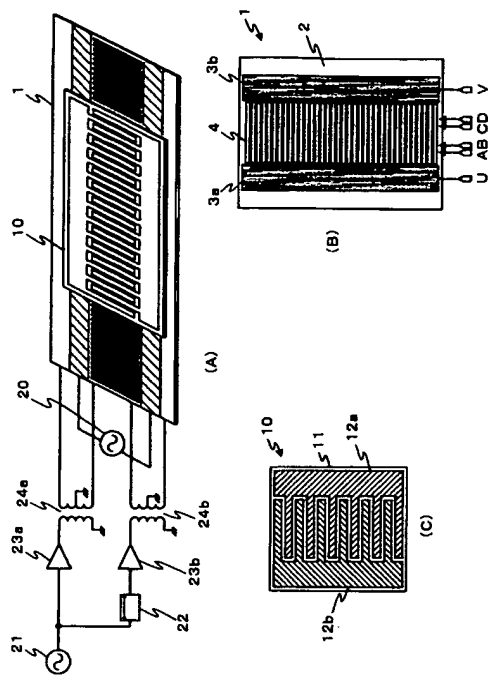
【図14】本発明の第6の実施の形態に係る静電アクチュエータの構成を示す図である。

【図15】本発明の第7の実施の形態に係る静電アクチュエータにおける移動子および固定子の真電荷がつくる電位分布を説明するための図である。

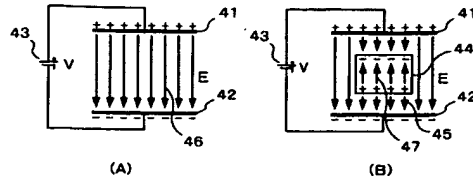
【符号の説明】

1…固定子、2…フィルム状の絶縁体、3a, 3b, 73a, 73b, 83…誘導電極、4, 4A, 4B, 4C, 4D…駆動電極、4R, 4T, 4S…3相駆動電極、10…移動子、11…絶縁体、12a, 12b, 72a, 72b, 82a, 82b…櫛歯状電極、20…交流駆動源、21…交流発生装置、22…位相器、23a, 23b…アンプ、24a, 24b…高圧トランス、30…3相交流駆動源、41, 42…電極、43…外部電源、44…導体、45, 46, 47…電気力線、50…交流源制御装置、51, 52…演算回路、60…円盤状固定子、61…回転子、62…回転中心、70, 80…円筒状固定子、71…円筒状移動子、81…円筒状回転子、90…固定子連結部材、91…移動子連結部材、92…回転連結部材。

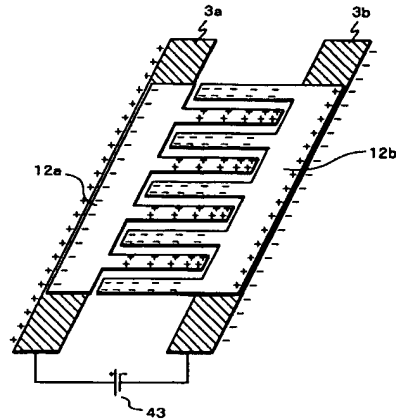
【図 1】



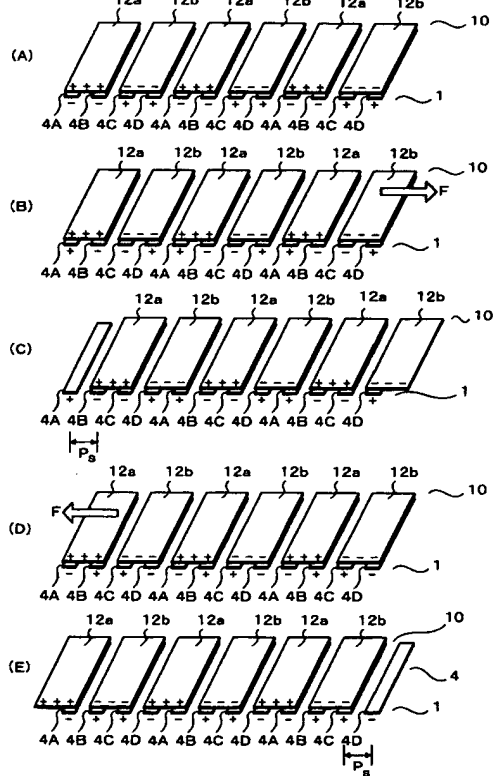
【図 2】



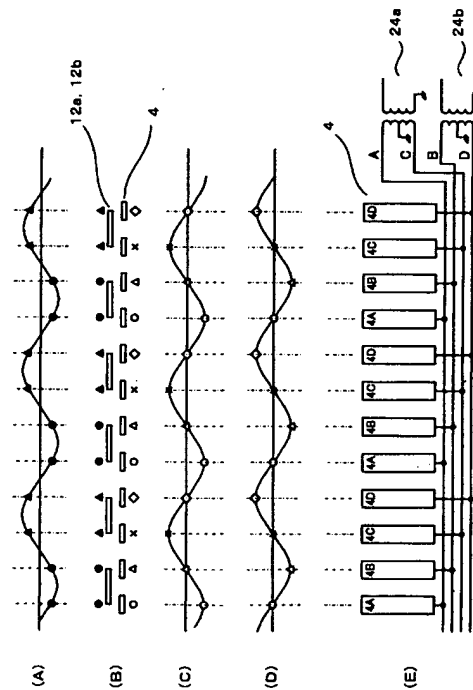
【図 3】



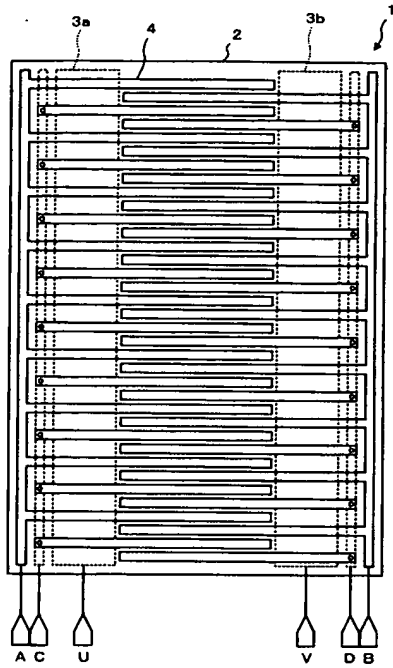
【図 4】



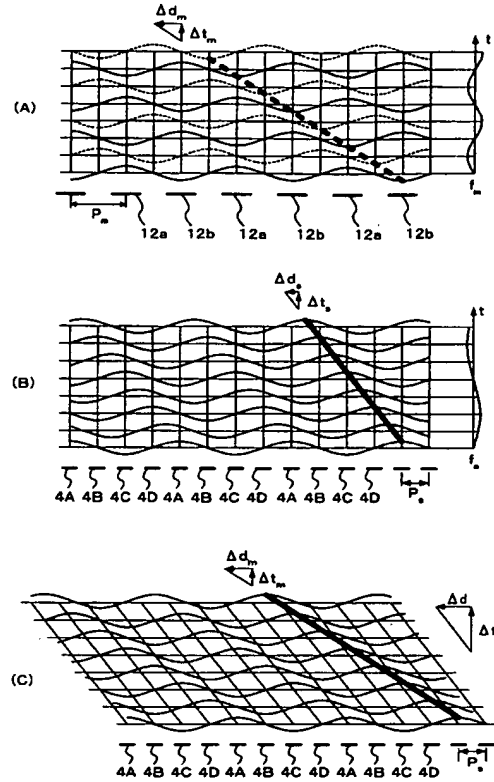
【図 5】



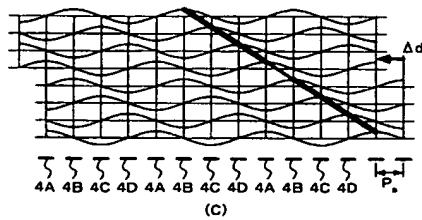
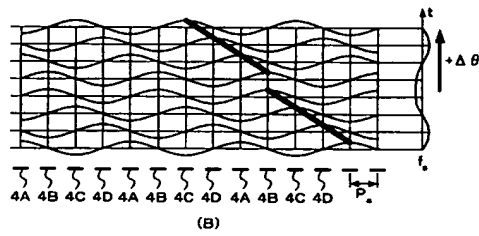
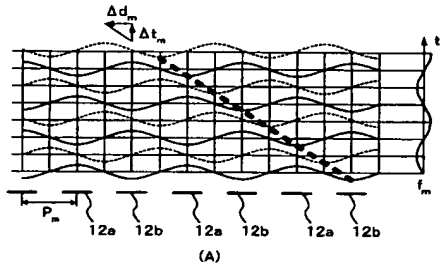
【図 6】



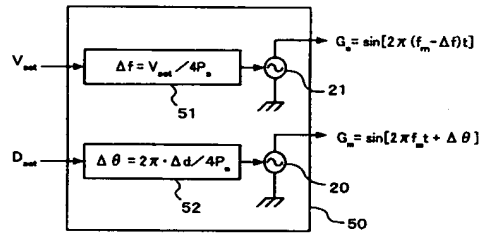
【図 7】



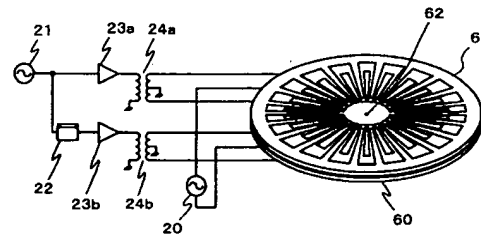
【図 8】



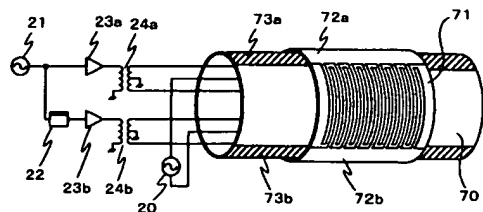
【図 9】



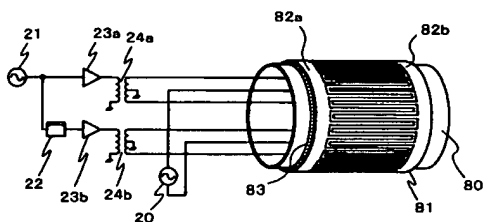
【図 10】



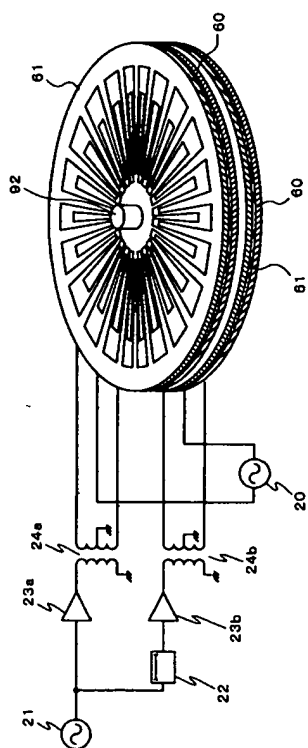
【図 1 1】



【図 1 2】



【図 1 4】



【図 1 5】

